

トランポリン運動における安全性の基礎的実験研究

山本博男・福島基*・南谷直利*・横山健*・安土武志*

Biomechanical Analysis of Safety on Shock Absorbency of Trampoline

Hiroh YAMAMOTO・Motoi FUKUSHIMA・
Naotoshi MINAMITANI・Ken YOKOYAMA・
Takeshi ANDO

はじめに

トランポリンには2つの機能がある。1つは衝撃を和らげる機能、もう1つは物体を空間に放出する機能である。トランポリンベッドが最も沈み込んだときに切り替わるこの2つの機能を利用して、我々は安全に様々なトランポリン運動を行なう事が出来る。

従来トランポリンに関する研究は、競技者を対象としている。Shvartz (1967)⁹⁾は、トランポリン運動において、運動方程式の適用を試みている。Vaughan (1980)⁹⁾は、stuntの違いが重心に与える影響について報告している。また、16 mm カメラ撮影による動作分析も数多く行なわれている。一方、山本らは、ヒトの着地緩衝能^{10), 11)}について報告している。しかし、トランポリンの器具自体の研究は皆無に等しい。トランポリンがいかに衝撃を和らげるか、さらに、トランポリン運動の静止においてどの様に力を緩衝しているかを調べることは、トランポリン運動における安全性の検討において、貴重な示唆を与えてくれると考える。

従って本研究の目的は、器具としてのトラン

ポリン自体の緩衝機能、及び、トランポリン運動の静止技術から、安全性のバイオメカニカルな資料を得ることである。

I 方法

本研究では、トランポリンの緩衝機能、及び、トランポリン運動の静止技術を調べるために、以下の2つの実験を行なった。

1 実験 I

実験 I では、ミニトランポリンを使用し、バネの個数及び種類を変え、トランポリン1, 2, 3の順にベッドの強度が強くなるように3種類のトランポリンを作成した。

(1) 実験内容

トランポリンに同じ衝撃を与えられるものとして、陸上競技用砲丸 (5.443kg) を使用した。トランポリンに加える衝撃を変えるために、ベッドから2.5m 及び 5 m の高さより砲丸をベッド中央に落下させた。さらに、トランポリンが落下物をベッド中央に戻す機能を調べるために、砲丸をベッド中央から0.6m 離れた位置

に落下させた。

(2) 測定項目及び方法

フォースプレートを用い、砲丸がトランポリンに落下したときの、脚における床反力を測定した。フォースプレートを、脚の1つにセットし、他の脚にブロックをおき、ベッドを水平にした。床反力は、ストレインアンプを介し、電磁オシログラフに記録された。床反力波形からは、そのパターン、最大荷重 (P. F.) 及び最大荷重出現時間 (P. F. T.) を分析した。また、砲丸の変位を調べるために、トランポリン側方20.0 mより、レンズ高2.45mでVTR撮影を行なった。VTR撮影からは、落下位置からの水平移動距離を分析した。実験配置図を図1に示す。

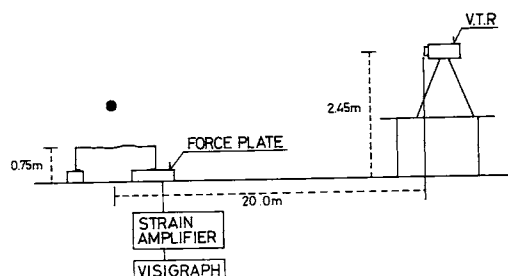


Fig. 1 Schematic diagram of the experiment I.

2 実験 II

(1) 被検者

被検者は、世界トランポリン選手権大会優勝経験を持つトランポリン競技者1名であった。被検者は、身長160.0cm、体重58.5kg、トランポリン歴15年であった。

(2) 実験内容

実験Iで作成した3種類のトランポリン中、トランポリン2を使用した。被検者は、ストレイトバウンスを3回行なった後、ベッド上に静止した。その際、被検者にはベッドから足が離れないよう最大努力で柔らかに静止するよう指示した。

(3) 測定項目及び方法

フォースプレートを用い、実験Iと同様の方

法で床反力を測定した。床反力波形からは、ストレイトバウンスとベッド上で静止した場合のP. F.を比較した。また、被検者の右側方8.20mよりレンズ高1.45mでVTR撮影を行なった。VTR撮影から、静止局面における頭、腰、膝及び足部の垂直変位、さらに、腰及び膝関節の角速度変化を分析した。

II 結果

1 実験 I

床反力を、身体の左右方向をX、前後方向をY、上下方向をZとし記録した (図2)。

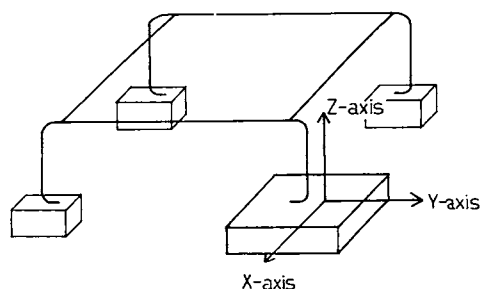


Fig. 2 Relationship between trampoline and ground reaction force components.

図3、4にトランポリン2の床反力波形を示す。2.5mの高さからベッド中央に落とした場合は、ベッドが最も沈みこんだ時と、3方向のピークは同時であった (図3)。しかし、ベッド中央から0.6m離れた位置に落とした場合は、ベッドが最も沈みこんだ時とZ方向における第1のピークは同時であった。また、Z方向には第2のピークが現われ、Y方向のピークと同時であった。この時、ベッドにたわみがみられた (図4)。

表1にZ方向のP. F.を示す。5mの高さからベッド中央に落とした場合、トランポリン1, 2, 3のP. F.は各々 $89.2 \pm 2.7\text{kg}$, $115.6 \pm 9.2\text{kg}$, $108.3 \pm 5.2\text{kg}$ であった。2.5mの高さから落とした場合は、各々 $49.4 \pm 1.0\text{kg}$, 68.4 ± 1.0

kg, 65.0 ± 2.0 kg であり, 3 群間に有意差があった。表 2 に Z 方向の P. F. T. を示す。5 m の高さからベッド中央に落とした場合は, 各々 80.4 ± 1.5 msec., 74.7 ± 1.9 msec., 59.7 ± 1.1 msec. であり, 3 群間に有意差があった。表 3 にベッド中央から 0.6 m 離れた位置に落とした場合の水平移動距離を示す。5 m の高さから落とした場合は, 各々 1.7 ± 0.3 m, 1.4 ± 0.3 m, 1.2 ± 0.2 m であった。

Table 1. Comparison of the peak force values for Z-axis.

	5 m		2.5 m	
	0 m	0.6 m	0 m	0.6 m
TRAMPOLINE 1	89.2 (2.7)*	80.3 (2.9)*	49.4 (1.0)*	46.5 (1.4)*
TRAMPOLINE 2	115.6 (9.2)*	90.6 (3.7)*	68.4 (1.0)*	54.4 (2.7)*
TRAMPOLINE 3	108.3 (5.2)	87.7 (6.5)	65.0 (2.0)	49.0 (1.6)

Values are given in kg
Numbers in parentheses are S.D.
* Significant difference ($p < 0.01$)

Table 2. Comparison of the peak force time values for Z-axis.

	5 m		2.5 m	
	0 m	0.6 m	0 m	0.6 m
TRAMPOLINE 1	80.4 (1.5)*	76.0 (1.7)*	84.8 (2.9)*	77.8 (8.2)
TRAMPOLINE 2	74.7 (1.9)*	65.6 (1.7)*	80.8 (1.8)*	76.0 (6.8)
TRAMPOLINE 3	59.7 (1.1)	50.4 (6.6)	68.6 (2.3)	71.0 (2.6)

Values are given in msec.
Numbers in parentheses are S.D.
* Significant difference ($p < 0.01$)

Table 3. Comparison of the horizontal displacement values for the shot.

	0.6 m	
	5 m	2.5 m
TRAMPOLINE 1	1.7 (0.3)	0.7 (0.1)*
TRAMPOLINE 2	1.4 (0.3)*	0.5 (0.1)
TRAMPOLINE 3	1.2 (0.2)	0.5 (0.1)

Values are given in m
Numbers in parentheses are S.D.
* Significant difference ($p < 0.01$)

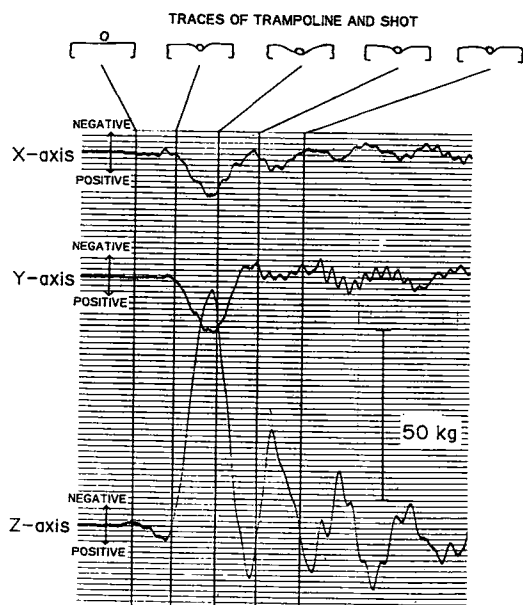


Fig. 3 Characteristics of ground reaction force falling to TRAMPOLINE 2. (height 2.5m, distance 0m)

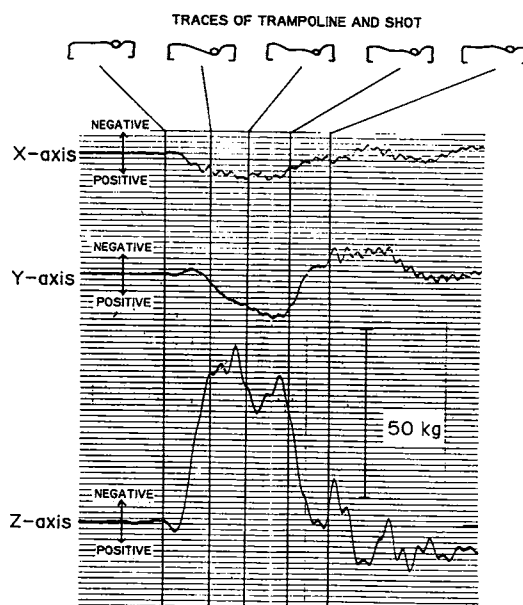


Fig. 4 Characteristics of ground reaction force falling to TRAMPOLINE 2. (height 2.5m, distance 0.6m)

2 実験 II

ストレイトバウンスと静止した場合の床反力を比較すると、Y方向は、各々35kg、30kgであり、Z方向は、各々145kg、135kgであった。図5にジャンプ最高位から静止するまでの頭、腰、膝及び足部の垂直変位を示す。各部とも、ベッドが最も沈み込むまでは同じように変位していた。しかし、その後、頭及び腰部は各々1.7m、1.2mで変位しなかったが、膝及び足部は上昇し、膝部は静止時において1.1mの高さまで達していた。図6にジャンプ最高位から静止するまでの、腰及び膝関節の角速度変化を示す。両関節ともベッドに接してから負の角速度が大きくなりはじめ、ベッドが最も沈み込んだ直後にピーク（腰関節：-630deg/sec、膝関節：-590deg/sec）を示した。その後両関節とも角速度は急激に小さくなった。

III 考察

1 トランポリンの緩衝機能について

本研究では、ベッド中央に衝撃を加えた方が大きな力が発揮されていた。ベッド中央から0.6m離れた位置の方がフォースプレートに近いにもかかわらず、このような結果になったのは、バネの伸びる長さに関係があると考えられる。同じ大きさの衝撃がベッドに加わった場合、ベッド中央よりもベッド中央から0.6m離れた位置の方がバネに近づく為、バネの伸びは長いと思われる、そのため、バネが伸びたぶんだけ衝撃を緩衝してしまうと考えられる。Vaughan (1980)⁹⁾は、ヒトが自らジャンプしようとしなければ、前の高さまで上昇できず、その理由として、バネやフレームが力を緩衝するためであると報告しており、本研究でも同じ理由から力の大きさに差が生じたと考えられる。

本研究で作成したトランポリンは、1、2、3の順にベッドの強度は強くなっている。砲丸の最高位をみるとトランポリン2が最大であった。この結果は、一定の衝撃に対して、ベッド

の強度を強くしていった場合、最も弾む強度があり、ベッドの強度をそれ以上にしても弾まなくなることを示唆している。そのため、運動する人の体重と脚力がベッドの強度と調和したとき、安定した運動が出来ると思われ、それ以上ベッドの強度を強くすることは、むしろ危険な要因の一つとなるであろう。

床に力が加わってから最大になるまでの時間は、緩衝能力の重要な指標の一つであり、この時間が長いと言うことは、それだけ時間をかけて緩衝していることになる。この指標を用いると、ベッドの強度が弱い方が緩衝機能は高くなると考えられる。

ベッド中央に落とした場合の床反力波形から、3方向に加わるピークが一致していることがわかる。さらに、ピークはベッドが最も沈み込んだときと一致しており、衝撃を受けとめるために力が発揮されていると考えられる。ベッド中央から0.6m離れた位置に落とした場合の波形から、Y方向の力が他の2方向よりも遅れていることがわかる。この遅れは、砲丸に近い方についているバネと反対側についているバネの伸びが異なり、緩衝機能に違いが生じ、ベッドにたわむためと考えられる。

本研究では、脚の1つだけにフォースプレートをセットしたので、他の脚にはどの様に力が加わったのかは明かでない。しかし、実験中、トランポリンが衝撃により横に動いた事から考えて、砲丸の落下点から離れている脚に加わった力は小さいと思われる。

2 トランポリン運動の静止技術について

床反力をみると、ストレイトバウンスと静止した場合の力の大きさはほぼ同じであった。このことは静止する場合も、トランポリンから人に力が加わっていることを示している。トランポリンで静止するためには、ベッドが沈むことによって蓄えられた力を消せばよい。床に着地する場合は時間を書けて緩衝するが、トランポリンでは、ジャンプする場合と同じように力をベッドにくわえた後、ベッドが戻る速度に合わ

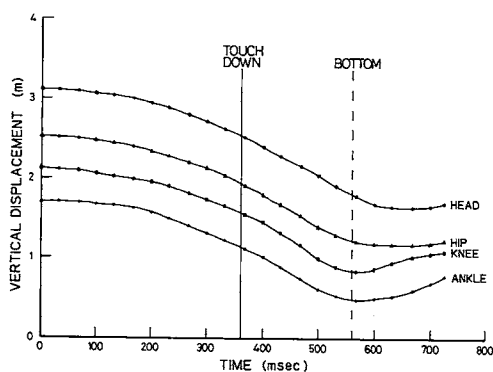


Fig. 5 Vertical displacements of head, hip, knee and ankle at landing.

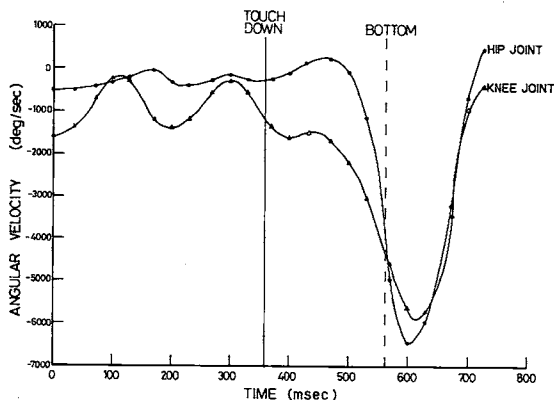


Fig. 6 Changes of angular velocity of hip and knee joints.

せて緩衝すればよいと考えられる。

身体各部の垂直変位から、ベッドが最も沈み込むまでは、身体を伸ばした状態を保っていることがわかる。そしてベッドが戻るにしたがって、膝及び足部は上昇しているのに対し、頭及び腰部は上昇がみられない。これは、ベッドが戻るときに上体の位置が変化していないことを示している。従って、腰関節が屈曲しているのは膝関節を屈曲したからであり、上体を前にかがめたのではないと考えられる。また、腰及び膝関節の角速度変化から、ベッドが戻り始めたときに、急激な屈曲が行なわれていることが明

らになった。Vaughan (1980)⁹⁾は、衝撃を消すときは、ベッドが沈み始めてから、腰、膝及び足関節を屈曲すると報告しているが、本研究では、ベッドが戻るときに膝関節を屈曲し、これにともない腰関節を屈曲させて衝撃を消していると考えられる。

IV 結 論

本研究において、以下の事項が明らかになった。

- 1 ベッドの強度が弱くなると、トランポリンの緩衝機能は高くなる。
- 2 衝撃を前後にずらすとベッドにたわみが生じ、前後方向の床反力は他の2方向よりも最大荷量の出現が遅れる。
- 3 トランポリンからの衝撃を消すために、トランポリン競技者はベッドが最も沈み込むまでは身体を伸ばし、ベッドの戻りに合わせて膝及び腰関節を急激に屈曲させていた。

尚、本研究の要旨は、平成元年日本体育学会第40回大会において口頭発表された。

参 考 文 献

- 1) 長谷川輝紀, 大林正憲: トランポリンにおける前方宙返り抱型の分析的研究, 体育学研究, XI: 142, 1967.
- 2) 長谷川輝紀, 大林正憲: トランポリンにおける後方2回宙返り抱型の分析的研究, 体育学研究, 13: 168, 1969.
- 3) 長谷川輝紀, 大林正憲: トランポリンにおける後方宙返り伸型の分析的研究, 体育学研究, 14: 152, 1970.
- 4) 長谷川輝紀, 大林正憲: トランポリンにおける前方宙返り1/2捻りの分析的研究, 体育学研究, 15: 119, 1971.
- 5) 大林正憲, 長谷川輝紀: トランポリン運動における後方宙返り抱型の分析的研究, 体育学研究, XI: 230, 1967.
- 6) 大林正憲, 長谷川輝紀: トランポリンにおけるフィー

- ト・バウンスの分析的研究, 体育学研究, Ⅻ: 137, 1968.
- 7) 大林正憲, 長谷川輝紀: トランポリンにおける後方宙返り1回捻りの分析的研究, 体育学研究, 15: 120, 1971.
- 8) Shvartz, E: Effect of impulse on momentum in performing on the trampoline, Res. Quart., 38: 300-304, 1967.
- 9) Vaughan, C. L., A kinetic analysis of basic trampoline stunts, J. Humam Movement Studies, 6: 236-251, 1980.
- 10) 山本博男ほか: 小学生における着地緩衝能の基礎的研究, 金沢大学教育学部紀要, 37: 125-130, 1988.
- 11) 山本博男ほか: 着地緩衝能における性差の基礎的研究, 金沢大学教育学部紀要, 37: 131-138, 1988.